

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10242569 A**

(43) Date of publication of application: **11.09.98**

(51) Int. Cl.

H01S 3/18
// H01L 33/00

(21) Application number: **10093716**

(22) Date of filing: **06.04.98**

(62) Division of application: **01110502**

(71) Applicant: **TOSHIBA CORP**

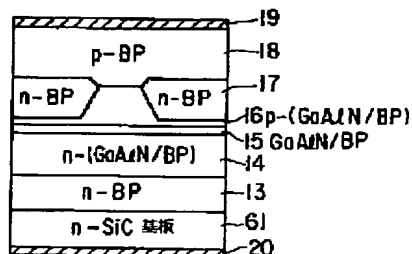
(72) Inventor: **HATANO GOKOU**
IZUMITANI TOSHIHIDE
OBA YASUO

(54) **SEMICONDUCTOR LASER**

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To realize a short-wavelength semiconductor laser obtained by using a new III-V compound semiconductor.

SOLUTION: Concerning to a semiconductor laser having a p-n junction, a double heterostructure wherein a luminous layer 15 is interposed by p-type and n-type clad layers 14, 16 made out of GaAlN material is formed, on an n-type SiC substrate 61. The p-type clad layer 16 of this double heterostructure has a rib structure i.e., its one part is protruded. And current blocking layers 17 made of n-type BP are formed on both sides of this rib structure.



COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-242569

(43) 公開日 平成10年(1998) 9月11日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

// H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

審査請求 有 請求項の数 2 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平10-93716
 (62) 分割の表示 特願平1-110502の分割
 (22) 出願日 平成1年(1989) 4月28日

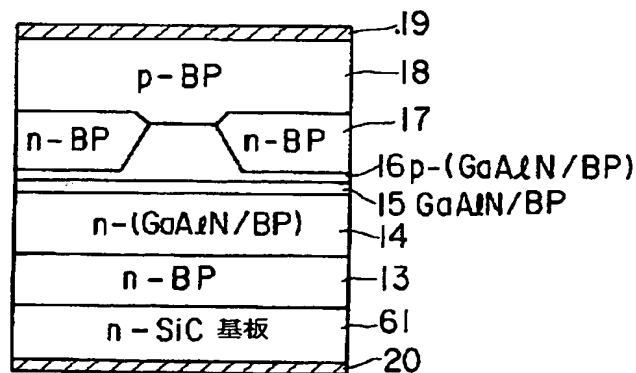
(71) 出願人 000003078
 株式会社東芝
 神奈川県川崎市幸区堀川町72番地
 (72) 発明者 波多野 吾紅
 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
 式会社東芝総合研究所内
 (72) 発明者 泉谷 敏英
 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
 式会社東芝総合研究所内
 (72) 発明者 大場 康夫
 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
 式会社東芝総合研究所内
 (74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ

(57) 【要約】

【課題】 新しいIII-V族系の化合物半導体材料を用いた短波長の半導体レーザを実現する。

【解決手段】 p n接合を有する半導体レーザにおいて、n型SiC基板61上に、発光層15をGaAlN系材料からなるp型及びn型のクラッド層14、16で挟んだダブルヘテロ構造部が形成され、このダブルヘテロ構造部のp型クラッド層16は一部が凸型に突出したリブ構造に形成され、該リブ構造の両側にn型BPからなる電流阻止層17が形成されている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 p n接合を有する半導体レーザにおいて、単結晶基板上に、発光層をGaAlN系材料からなるp型及びn型のクラッド層で挟んだダブルヘテロ構造部が形成され、このダブルヘテロ構造部のp型クラッド層は一部が凸型に突出したリブ構造に形成され、該リブ構造の両側に電流阻止層が形成されていることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項2】 前記基板は、SiCであることを特徴とする請求項1記載の半導体レーザ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、新しいIII-V族化合物半導体材料を用いた短波長の半導体レーザに関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、高速度かつ高密度の情報処理システムの発展に伴い、短波長の半導体レーザ(LD)の実現が望まれている。

【0003】 緑色や青色等の短波長半導体レーザの実現に有望と思われるIII-V族化合物半導体材料を大きなバンドギャップという観点から見ると、BN(4または8 eV)、AlN(6 eV)、GaN(3.4 eV)、InP(2.4 eV)、AlP(2.5 eV)、GaP(2.3および2.8 eV)等の、軽めのIII族元素の窒化物と燐化物が大きいバンドギャップを有する。

【0004】 しかしながらこれらのうち、BNは、バンドギャップが大きい4配位(sp³)結合を有する高压相(c-BN)は合成しにくく、しかも3種の多形を有し、混合物もでき易いので使用できない。不純物ドーピングも難しい。InNは、バンドギャップが小さめであり、熱的安定性に乏しく、また普通多結晶しか得られない。AlP、GaNは、いずれもバンドギャップがやや足りない。

【0005】 残るAlN、GaNは、バンドギャップが大きく、また安定性にも優れており、短波長発光に適していると言える。ただ、AlN、GaNは結晶構造がウルツ鉱型(Wurzeite型、以下これをWZ型と略称する)であり、しかもイオン性が大きいため格子欠陥が生じ易く、低抵抗のp型半導体を得ることができない。

【0006】 この様な問題を解決するため、B、Nを含まないIII-V族系の化合物にB、Nを混合してバンドギャップを大きくした材料を得る試みがなされている。しかし、従来用いられている材料とB、Nを含む材料とでは格子定数が20~40%と大きく異なり、また格子型も異なるため、安定な結晶は得られていない。例えば、GaPにNを混合した場合、NはGaPの1%以下しか混合できず、十分広いバンドギャップを得ることは不可能であった。

【0007】 本発明者らの研究によれば、GaNやAlNで低抵抗のp型結晶が得られないのは、イオン性が大きいことによる欠陥が生じ易いことの他に、これらが閃亜鉛鉱型(Zinc Blende型、以下ZB型と略称する)の結晶構造ではなく、WZ構造を持っていることが本質的な原因であることが判明している。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】 以上のように従来、緑色や青色等の短波長半導体レーザを実現するために必要である、バンドギャップが例えば2.7 eV以上と大きく、p n制御が可能で、結晶の質も良い、という条件を満たす半導体材料は存在しなかった。AlN、GaNなどの窒化物は大きいバンドギャップを得る上で有効な材料であるが、低抵抗のp型層を得ることができなかった。

【0009】 本発明はこの様な点に鑑みてなされたもので、新しいIII-V族系の化合物半導体材料を用いた半導体レーザを提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】

(構成) 本発明に係る半導体レーザは、p n接合を有する半導体レーザにおいて、単結晶基板上に、発光層をGaAlN系材料からなるp型及びn型のクラッド層で挟んだダブルヘテロ構造部が形成され、このダブルヘテロ構造部のp型クラッド層は一部が凸型に突出したリブ構造に形成され、該リブ構造の両側に電流阻止層が形成されていることを特徴とする。

【0011】 (作用) 本発明者らの研究によれば、GaAlN系材料であっても、例えばBPとの多層構造に形成したり、或いはBPとの混晶を形成することにより、安定な結晶を作成できる場合のあることが判明した。そこで本発明では、GaAlN系材料からなるダブルヘテロ構造部を用いて半導体レーザを構成し、更にダブルヘテロ構造部のp型クラッド層側にリブ構造と電流阻止層を設ける。これにより、リブ構造部分に効果的に電流を狭窄することができ、短波長の半導体レーザを実現することが可能となる。

【0012】

【発明の実施の形態】 以下、本発明の詳細を図示の実施形態によつて説明する。

【0013】 図1は、本発明の一実施形態の半導体レーザの断面図である。n型GaP基板11上には、n型GaPバッファ層12、n型BPバッファ層13が積層形成されている。

【0014】 このn型BPバッファ層13上に、n型GaxAl_{1-x}N/BP超格子層からなるクラッド層14、アンドープのGaxAl_{1-x}N/BP超格子層からなる活性層15およびp型GaxAl_{1-x}N/BP超格子層からなるクラッド層16が順次積層形成されて、ダブルヘテロ接合部を構成している。例えば、クラッド層

14および16では $x=0.4$ とし、活性層15では $x=0.5$ とする。これによりクラッド層14および16はバンドギャップが3.0 eV、活性層15はバンドギャップが2.7 eVとなり、ダブルヘテロ接合が形成される。

【0015】p型クラッド層16上には、中央部のストライプ状の部分を残してn型BP電流阻止層17が形成されている。この電流阻止層17上およびストライプ状のp型クラッド層16上にp型BPコンタクト層18が形成されている。コンタクト層18表面にはp側の金属電極19が形成され、基板11にはn側の金属電極20が形成されている。この半導体レーザでは、コンタクト層18の下部凸部の周囲にn型BP電流阻止層17が形成されて、電流狭窄構造と光導波路構造が自己整合的に形成されている。

【0016】この半導体レーザは、有機金属気相成長法(MOCVD法)を用いて製造される。その製造方法に付き以下に詳しく説明する。

【0017】図2は、その実施形態に用いたマルチチャンバ方式の有機金属気相成長(MOCVD)装置である。図において、21、22および23は石英製の反応管でありそれぞれの上部に位置するガス導入口から必要な原料ガスが取り入れられる。これらの反応管21、22および23は一つのチャンバ24にその上蓋を貫通して垂直に取付けられている。基板25はグラファイト製サセプタ26上に設置され、各反応管21、22、23の開口に対向するように配置されて外部の高周波コイル27により高温に加熱される。

【0018】サセプタ26は、石英製ホルダ28に取付けられ、磁性流体シールを介した駆動軸により各反応管21、22、23の下を高速度で移動できるようになっている。駆動は、外部に設置されたコンピュータ制御されたモータにより行われる。サセプタ中央部には熱電対30が置かれ、基板直下の温度をモニタして外部に outputs。そのコード部分は回転によるよじれを防止するためスリップリングが用いられる。反応ガスは、上部噴出口31からの水素ガスのダウンフローの速い流れにより押出され、互いの混合が極力抑制されながら、排気口32からロータリーポンプにより排気される。

【0019】このようなMOCVD装置により、各反応管21、22、23を通して所望の原料ガスを流し、基板25をコンピュータ制御されたモータで移動させることにより、基板25上に任意の積層周期、任意組成を持つて多層構造を作製することができる。この方式では、ガス切替え方式では得られない鋭い濃度変化が容易に実現できる。またこの方式では、急峻なヘテロ界面を作製するためにガスを高速で切替える必要がないため、原料ガスである NH_3 や PH_3 の分解速度が遅いという問題を、ガス流速を低く設定することにより解決することができる。

【0020】このMOCVD装置を用いて図1の半導体レーザを作製した。原料ガスは、トリメチルアルミニウム(TMA)、トリメチルガリウム(TMg)、トリエチル硼素(TEB)、アンモニア(NH_3)、フォスフィン(PH_3)である。基板温度は850~1150℃程度、圧力は0.3気圧、原料ガスの総流量は1 l/minであり、成長速度が1 $\mu\text{m}/\text{h}$ となるようにガス流量を設定した。

【0021】概略的な各ガス流量は、TMA: $1 \times 10^{-6} \text{ mol/min}$ 、TMg: $1 \times 10^{-6} \text{ mol/min}$ 、TEB: $1 \times 10^{-6} \text{ mol/min}$ 、 PH_3 : $5 \times 10^{-4} \text{ mol/min}$ 、 NH_3 : $1 \times 10^{-3} \text{ mol/min}$ である。p、nのドーパントにはMgとSiを用いた。これらの不純物ドーピングは、シラン(SiH_4)およびシクロペンタジエニルマグネシウム(Cp_2Mg)を原料ガスに混合することにより行った。

【0022】なお、GaAlN/BP超格子を作成する際の代表的な積層周期は2 nm、GaAlN層とBP層の厚さの比は1:1であり、以下の実施形態でも全てこの値に設定した。他の組成でも可能であるが、ダブルヘテロ接合部のBP層に対するGaAlN層の膜厚比が1より小さくなると、バンド構造が直接遷移型から間接遷移型に変化し、発光効率は低下する。また積層周期についても、上記の値に限られないが、例えば5 nmを越えると電子、正孔の局在が顕著になり、導電性の低下が生じるので、5 nm以下の範囲で設定することが望ましい。

【0023】具体的な図1の素子形成条件を説明する。GaP基板11はSiドーブ、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、n型GaPバッファ層12はSiドーブ、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 、厚さ1 μm 、n型BPバッファ層13はSiドーブ、キャリア濃度 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 、厚さ1 μm とする。この上にn型クラッド層14として、Siドーブ、キャリア濃度 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 、厚さ1 μm の $\text{Ga}_{0.4}\text{Al}_{0.6}\text{N}$ /BP超格子層、活性層15としてアンドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.5}\text{N}$ /BP超格子層、p型クラッド層16としてMgドーブ、キャリア濃度 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 、厚さ1 μm の $\text{Ga}_{0.4}\text{Al}_{0.6}\text{N}$ /BP超格子層が順次形成されてダブルヘテロ接合構造が得られる。

【0024】そして、p型クラッド層16上に、シランガスの熱分解と写真蝕刻により幅5 μm のストライプ状に SiO_2 膜を形成し、MOCVDによりクラッド層上にもみ選択的にp型BP電流阻止層17(Siドーブ、キャリア濃度 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 、1 μm)を成長させる。そして SiO_2 膜を除去して、p型BPコンタクト層18(Mgドーブ、キャリア濃度 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 、1 μm)を形成する。その後通常の電極付け工程により、コンタクト層18上にAu/Znからなる電極19を形成し、基板裏面にはAu/Geからなる電極20

0を形成する。

【0025】こうして得られた半導体レーザ・ウェハをへき開して共振器長 $300\mu\text{m}$ のレーザ素子を構成したところ、液体窒素温度でパルス幅 $100\mu\text{sec}$ のパルス動作で緑色光レーザ発振が確認された。しきい値電流密度は約 $50\text{kA}/\text{cm}^2$ であった。

【0026】図3は、図1の構成を変形した他の実施形態の緑色半導体レーザである。図1と異なる点は、p型クラッド層16の中央部にストライプ状の凸部ができるように選択エッチングしてその凸部周囲にn型BP層からなる電流阻止層17を形成していることである。その他は図1と同様である。

【0027】この実施形態では、n型クラッド層16が凸型に加工されて等価的に横方向に屈折率差が形成され、これにより良好な横モード制御が行われる。この実施形態の場合も、共振器長 $300\mu\text{m}$ のレーザ素子を構成して略同様の特性が得られた。しきい値電流密度は約 $70\text{kA}/\text{cm}^2$ であった。しきい値電流密度が若干高めであるが、単一峰の遠視野像が確認され、良好な横モード制御が行われていることが確認された。

【0028】図4は、GaAlN/BP超格子層に代って、 $\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{B}_{1-x-y}\text{N}_z\text{P}_{1-z}$ 混晶層を用いてクラッド層および活性層を形成した実施形態の半導体レーザである。図3の実施形態の構成に対して異なる点は、n型GaAlBNPクラッド層41、アンドープGaAlBNP活性層42およびp型GaAlBNPクラッド層43によりダブルヘテロ接合を構成していることである。

【0029】この半導体レーザの製造も図2のMOCVD装置を用いて先の各実施形態とほぼ同様に行われる。その際、混晶層の形成に当たっては基板の移動は止めて、一つの反応管から必要な全ての原料ガスを導入する。またこのとき、反応ガスの相互反応を防止するため、混晶成長を行う原料ガスの混合は反応管の直前でを行い、低圧条件下で成長を行う。原料ガス、その流量、基板温度などの成長条件は、先の実施形態とほぼ同様である。

【0030】具体的な素子形成条件は次の通りである。n型GaP基板11はSiドープ、キャリア濃度 $1\times 10^{18}/\text{cm}^3$ 、n型GaPバッファ層12はSiドープ、キャリア濃度 $1\times 10^{18}/\text{cm}^3$ 、厚さ $1\mu\text{m}$ 、n型BP層13はSiドープ、キャリア濃度 $1\times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、厚さ $1\mu\text{m}$ である。n型クラッド層41は $\text{Ga}_{0.2}\text{Al}_{0.3}\text{B}_{0.5}\text{N}_{0.5}\text{P}_{0.5}$ 混晶層 (Siドープ、キャリア濃度 $1\times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、 $1\mu\text{m}$)、アンドープ活性層42は $\text{Ga}_{0.25}\text{Al}_{0.3}\text{B}_{0.5}\text{N}_{0.5}\text{P}_{0.5}$ 混晶層 (厚さ $0.1\mu\text{m}$)、p型クラッド層43は $\text{Ga}_{0.2}\text{Al}_{0.3}\text{B}_{0.5}\text{N}_{0.5}\text{P}_{0.5}$ 混晶層 (Mgドープ、キャリア濃度 $1\times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、 $1\mu\text{m}$) である。電流狭窄構造、光導波構造および電極は図3の実施形態と

同様である。

【0031】得られたウェハをへき開して共振器長 $300\mu\text{m}$ のレーザ素子を作成したところ、液体窒素温度でパルス幅 $20\mu\text{sec}$ のパルス動作で緑色光レーザ発振が確認された。

【0032】図5は、図3の実施形態の構成において、基板11とダブルヘテロ接合部の間のバッファ層12、13を省略した実施形態である。この様にバッファ層は本質的ではなく、場合によっては省略することができる。

【0033】ただし本発明における半導体レーザのダブルヘテロ接合部の半導体材料に対しては、格子定数が合致する適当な基板がないのが一つの難点である。このため成長条件によってはダブルヘテロ接合部に大きい応力がかかり、或いは格子定数の違いに起因して転位が発生するなど、信頼性上問題があるのでバッファは設けた方が良い。この格子定数の問題にさらに考慮を払った実施形態を次に説明する。

【0034】図6は、その様な実施形態の半導体レーザである。これは図3の実施形態の構成を基本とし、そのn型BPバッファ層13の部分を平均組成を変化させたGaAlNとBPの超格子層または $\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{B}_{1-x-y}\text{N}_z\text{P}_{1-z}$ 層が交互に積層された多層構造からなるn型バッファ層51に置換したものである。

【0035】図7は同様に、図3の実施形態のGaP基板11およびGaPバッファ層12の部分に、ダブルヘテロ接合部の材料により格子定数が近いSiC基板61を用いた実施形態である。

【0036】これらの実施形態によって、ダブルヘテロ接合部への応力集中、転位の発生などを抑制することができる。更に上記各実施形態に於いて、BPバッファ層12の成長に際して成長中に適当な温度サイクルを与えて応力を吸収することも可能であり、有用である。

【0037】以上の実施形態では、電流阻止層としてBP層を用いたが、BP層は発光波長に対して不透明であるため損失が大きく、これによりしきい値電流密度が高いものとなる。また高出力を必要とする際には、非点収差が大きくなる。また電流阻止層はキャリア濃度が十分高いことが重要であり、この点に関しても特にn型基板を用いる際には電流阻止層もn型とすることが多いが、BPはn型の高濃度ドーピングが困難であり、キャリア濃度を十分高くできない。これらの点を電流阻止層にWZ型結晶を用いることにより改善した実施形態を次に説明する。

【0038】図8はその様な実施形態の半導体レーザである。図1の実施形態の構成を基本とし、そのn型BP電流阻止層17の部分をn型AlBNP電流阻止層81に置換している点異なる。それ以外は図1と同様である。製造工程も図1の実施形態と基本的に変わらない。n型AlBNP電流阻止層81として具体的に、Siド

ープ、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 、厚さ $1 \mu\text{m}$ の $\text{Al}_{0.2}\text{B}_{0.8}\text{N}_{0.2}\text{P}_{0.8}$ 層を成長させた素子を作成した。

【0039】得られたレーザ素子は共振器長 $300 \mu\text{m}$ の場合、液体窒素温度でパルス幅 $100 \mu\text{msec}$ のパルス動作で緑色レーザ発振が確認された。しきい値電流密度は約 $30 \text{kA} / \text{cm}^2$ であった。このとき動作電圧は 5V 程度の低いものであった。

【0040】図9および図10の実施形態は同様の AlBNP 電流阻止層を、それぞれ図3および図4の実施形態のものに適用した場合である。これらの実施形態によっても同様の効果が得られる。またWZ型の AlBNP に Ga を混入しても同様の効果を得ることができる。

【0041】さらに電流阻止層に、WZ型 $\text{Ga}_u\text{Al}_{1-u}\text{N}$ 層($0 \leq u \leq 1$)を用いた実施形態を説明する。WZ型 GaAlN は、透明度が高くかつ結晶成長が容易で成長速度も速いため、本発明の半導体レーザでの電流阻止層として非常に有効である。図11はその様な実施形態であり、図1の実施形態のn型BP電流阻止層17の部分にn型 Ga_uN 電流阻止層91を設けたものである。製造工程はやはり図1のそれと基本的に同じである。具体的にn型 Ga_uN 電流阻止層91として、Siドープ、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 、 $1 \mu\text{m}$ の Ga_uN 層を用いて、共振器長 $300 \mu\text{m}$ のレーザ素子を作成した。

【0042】得られたレーザ素子は、液体窒素温度でパルス幅 $100 \mu\text{msec}$ のパルス動作で緑色レーザ発振が確認された。しきい値電流密度は約 $30 \text{kA} / \text{cm}^2$ であった。また良好な横モード制御が行われていることが確認され、動作電圧は約 5V と低い値が得られた。また非点収差は $10 \mu\text{m}$ であり、この値はBPを電流阻止層として用いた場合の $30 \mu\text{m}$ に比べて十分小さい。

【0043】図12および図13は同様に、それぞれ図3および図4の実施形態の構成に対してn型 Ga_uN 電流阻止層を用いた実施形態である。これらの実施形態によっても同様の効果が得られる。

【0044】さらに電流阻止層として、 GaAlBNP 混晶層や GaAlN / BP 超格子層などを用いることも可能である。

【0045】以上の実施形態において、 GaAlN / BP 超格子層または GaAlBNP 混晶層からなるクラッド層は、上部クラッド層がBPコンタクト層と接し、下部クラッド層がBPバッファ層に接する。BP層は GaAlN / BP 超格子層または GaAlBNP 混晶層よりバンドギャップが狭いから、これらの間には電位障壁が形成され、これが素子のしきい値電流密度や動作電圧を高くする原因となる。したがってこれらの間には更にバンドギャップを滑らかに遷移させるような中間バッファ層を介在させることが有効である。その様な実施形態を以下に説明する。

【0046】図14はその様な実施形態の半導体レーザである。この実施形態は図1の実施形態の構成を基本とし、n型BPバッファ層13とn型 GaAlN / BP クラッド層14の間にn型 $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{N} / \text{BP}$ 超格子層からなる第1の中間バッファ層101を介在させ、またp型 GaAlN / BP クラッド層16とp型BPコンタクト層18間に同様にp型 $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{N} / \text{BP}$ 超格子層からなる第2の中間バッファ層102を介在させている。それ以外は図1の実施形態と同様である。

【0047】素子製造方法および製造条件は基本的に図1の実施形態と変わらない。具体的に、n型クラッド層14がSiドープ、キャリア濃度 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ の $\text{Ga}_{0.4}\text{Al}_{0.6}\text{N} / \text{BP}$ 層に対して第1の中間バッファ層101を、Siドープ、キャリア濃度 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 、厚さ $0.1 \mu\text{m}$ の $\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.2}\text{N} / \text{BP}$ 超格子層とし、p型クラッド層14がMgドープ、キャリア濃度 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ の $\text{Ga}_{0.4}\text{Al}_{0.6}\text{N} / \text{BP}$ 層に対して第2の中間バッファ層102を、Mgドープ、キャリア濃度 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 、厚さ $0.1 \mu\text{m}$ の $\text{Ga}_{0.8}\text{Al}_{0.2}\text{N} / \text{BP}$ 超格子層として素子形成した。

【0048】この実施形態の素子でも液体窒素温度で緑色光レーザ発振が確認され、低いしきい値電流密度と動作電圧が得られた。

【0049】図15は、図3の実施形態の素子に対して、図14の実施形態と同様の超格子層からなる中間バッファ層101、102を設けた実施形態である。この実施形態でも同様の緑色光レーザ発振が得られる。

【0050】以上の中間バッファ層を設ける方式は、クラッド層および活性層に GaAlBNP 混晶層を用いる場合にも有効であり、その場合中間バッファ層としては GaAlN / BP 超格子層或いは GaAlBNP 混晶層を用いればよい。

【0051】図16は、その様な実施形態の半導体レーザである。これは、図4の実施形態の素子に対して、n型クラッド層41の下にn型 GaAlBNP 混晶層からなる第1の中間バッファ層111を設け、p型クラッド層43上にp型 GaAlBNP 混晶層からなる第2の中間バッファ層112を設けたものである。

【0052】具体的に例えば、n型クラッド層41およびn型クラッド層43が $\text{Ga}_{0.2}\text{Al}_{0.3}\text{B}_{0.5}\text{N}_{0.5}\text{P}_{0.5}$ 混晶層である場合、第1の中間バッファ層111を、Siドープ、キャリア濃度 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 、厚さ $0.1 \mu\text{m}$ の $\text{Ga}_{0.4}\text{Al}_{0.1}\text{B}_{0.5}\text{N}_{0.5}\text{P}_{0.5}$ 混晶層とし、第2の中間バッファ層112を、Mgドープ、キャリア濃度 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 、厚さ $0.1 \mu\text{m}$ の $\text{Ga}_{0.4}\text{Al}_{0.1}\text{B}_{0.5}\text{N}_{0.5}\text{P}_{0.5}$ 混晶層とする。素子の製造方法は図4の実施形態のそれと基本的に同じである。

【0053】この実施形態によっても、先の実施形態と

同様の効果が得られる。

【0054】なお、中間バッファ層を設ける上記各実施形態に於いて、コンタクト層側の第2の中間バッファ層は電流狭窄領域のみに形成しているが、これはクラッド層上全面に設けることも可能である。

【0055】図17はその様な実施形態であり、図14に対して上部の中間バッファ層102'をp型クラッド層16上全面に設けている。

【0056】また上記各実施形態の中間バッファ層について、超格子層を用いた場合、混晶層を用いた場合いずれも、その平均組成を膜厚方向に変化させてバンドギャップが連続的に変化するようになれば、バンドギャップの遷移領域がより滑らかになって効果的である。

【0057】本発明の半導体レーザにおいて、格子整合がとれる良質の適当な基板のないことが一つの問題であることは既に述べた。これに対して先に実施形態を説明したように発光層と同質のバッファ層を設けることの他に、結晶成長に用いた基板をその後除去するという方法も有効である。

【0058】図18はその様な実施形態の半導体レーザである。これは基本的に図1の実施形態の素子と同様に構成した後、基板11およびGaPバッファ層12を除去したものである。GaP基板11およびGaPバッファ層12の除去は例えば、機械研磨の後、2%臭素メチルアルコール溶液でエッチングすることにより行われる。

【0059】この実施形態によれば、基板およびバッファ層の除去によって発光層部分への応力集中が軽減され、安定動作が得られる。具体的にこの実施形態により共振器長 $300\mu\text{m}$ の素子を構成し、液体窒素温度でパルス幅 $100\mu\text{sec}$ のパルス動作で緑色光レーザ発振が確認された。しきい値電流密度は約 $50\text{kA}/\text{cm}^2$ であった。室温ではレーザ発振は確認されなかったが、LEDモードの動作では100時間以上安定した発光が確認された。

【0060】図19および図20は、同様の基板除去をそれぞれ図3および図4の実施形態の素子に対して適用した場合を示している。これらの実施形態によっても同様の効果が得られる。

【0061】以上の実施形態では全て、pn接合を利用して電流狭窄を行う電流阻止層を設けているが、この様な格別の電流阻止層を設けなくても電流狭窄は可能である。以下にその実施形態を説明する。

【0062】図21は、その様な実施形態の半導体レーザである。この構造は、図15の実施形態の構造を基本として、n型BP電流阻止層17を形成することなく、p型BPコンタクト層18を形成したものである。このような方法によれば、選択成長の工程を必要としないため、工程が簡単化され、コスト低下につながる。

【0063】この構造では、p型クラッド層16とp型

BPコンタクト層18が直接接触する領域は、バンド不連続による大きい電位障壁により電流が流れず、中央のストライプ状部分のp型GaAlN/BP超格子層からなる中間バッファ層103が介在している部分のみ滑らかなバンド遷移の結果電流が流れる。したがって実質的に電流狭窄が行われる。また、p型クラッド層16がストライプ状に凸型に加工されているため、横方向に屈折率の差ができて光閉じ込めも行われる。

【0064】この実施形態により共振器長 $300\mu\text{m}$ の素子を構成して、液体窒素温度でパルス幅 $100\mu\text{sec}$ のパルス動作で緑色レーザ発振が確認された。しきい値電流密度は約 $70\text{kA}/\text{cm}^2$ であった。しきい値電流密度は高めであるが、良好な横モード制御が行われていることが確認された。また動作電圧は約5Vと低いものであった。

【0065】図22は同様の電流狭窄構造を、図16の実施形態の素子に適用した実施形態である。この実施形態によっても同様のレーザ発振が可能である。

【0066】図23は更に、p型クラッド層16をストライプ状凸部をもつように加工することをせず、p型GaAlN/BP中間バッファ層102を選択的にエッチングしてストライプ状にパターンニングし、p型BPコンタクト層19を全面に形成した実施形態である。この実施形態によっても、光閉じ込めの効果はないが、電流狭窄は行われ、レーザ発振が可能である。

【0067】本発明の半導体レーザにおける発光層に用いる化合物半導体材料は、BPの低イオン性とZB構造、およびGaAlNの広いバンドギャップの特性を併せ持つものであるが、GaAlN層部分にアクセプタ不純物が入るとNが抜けるという自己補償効果があり、高濃度のp型ドーピングが難しい。その点を解決するために、GaAlN/BP超格子層を形成する際に、p型に関しては低イオン性のBP層にのみ選択的に不純物をドーピングすることが有効であることが判明した。GaAlN/BP超格子層全体にp型不純物をドーピングすると、GaAlN層での自己補償効果の他、欠陥が多く発生して結局全体として高いキャリア濃度が得られないのに対し、BP層にのみ選択的にp型不純物をドーピングすると、自己補償効果の影響を受けず、また欠陥の発生もないため、結果的にドーピングした不純物の多くがキャリアとして有効に活性化されるものと思われる。

【0068】図24(a)(b)は、その様なドーピング法を示す概念図である。(a)はp型ドーピングの場合であり、(b)はn型ドーピングの場合である。いずれも、BP層とGaAlN層が交互に所定周期で積層された超格子構造を基本とするが、(a)ではBP層にのみMgがドーピングされ、(b)ではGaAlN層にのみSiがドーピングされている。

【0069】この様な超格子構造半導体層の成長と選択的な不純物ドーピングは、図2のMOCVD装置により可能

である。すでに説明した実施形態における超格子層形成と同様の条件でGaAlN/BP超格子層を形成し、n型に関してはGaAlN層にSiを、p型に関してはBP層にMgをそれぞれドーピングした。n型の場合はGaAlN層とBP層に同時にSiをドーピングしてもよいが、BPは有効質量が非常に大きくn型ドーピングには適さない。この選択ドーピングにより、p型、n型共に $10^{18}/\text{cm}^3$ オーダーのキャリア濃度の超格子半導体膜が得られることが確認された。したがってこの選択ドーピングは本発明の半導体レーザを製造する際に有効である。

【0070】なおp型ドーピングの際、GaAlN層に僅かのMgが混入することは差支えない。

【0071】本発明は、上記した実施形態に限られない。実施形態ではGaAlN/BP超格子層を用いてダブルヘテロ接合を構成する場合にその組成比を変化させ、またGaAlBNP混晶層を用いた場合にもその平均組成を変化させたが、超格子層を用いる場合GaAlNとBPの膜厚比を変化させることによりバンドギャップを変化させることもできる。また上記各実施形態では、超格子構造の場合を含めて平均組成を $\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{B}_{1-x-y}\text{N}_z\text{P}_{1-z}$ で表したとき、 $x+y=0.5$ としたが、他の組成を用いることもできる。但し発光層の場合、 $x+y$ が0.5より小さくなると、バンド構造が直接遷移型から間接遷移型になってしまうので好ましくない。

【0072】さらに上述した各実施形態において、GaAlN層とBP層間の格子整合をより良好なものとするために、III族元素としてB、Ga、Alの他にInなどを少量混合してもよい。同様にV族元素としてAs、Sbを混合することができる。また原料ガスとしては、Ga原料としてトリエチルガリウム(TEG)、Al原料としてトリエチルアルミニウム(TEA)、B原料としてトルメチルボロン(TMB)などを使用することができ、さらにN原料としてヒドラジン(N_2H_4)のほか、 $\text{Ga}(\text{C}_2\text{H}_5)_3 \cdot \text{NH}_3$ 、 $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3 \cdot \text{N} \cdot (\text{CH}_3)_3$ などの、アダクトと呼ばれる有機金属化合物を用いることができる。さらに上述の実施形態では第1導電型をn型、第2導電型をp型とした場合を説明したが、これらを逆にしてもよい。電極の材料も他のものを選択することができる。

【0073】その他、本発明はその趣旨を逸脱しない範囲で種々変形して実施することができる。

【0074】

【発明の効果】以上述べたように本発明によれば、広いバンドギャップを持つ化合物半導体材料を用いて、実用的な短波長光半導体レーザを実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態に係るGaAlN/BP超格子層を用いた半導体レーザを示す断面図。

【図2】図1のレーザの製造に用いたMOCVD装置の構成を示す図。

【図3】GaAlN/BP超格子層を用いた他の実施形態の半導体レーザを示す断面図。

【図4】GaAlBNP混晶層を用いた実施形態の半導体レーザを示す断面図。

【図5】バッファ層を省略した実施形態の半導体レーザを示す断面図。

【図6】GaAlN/BP超格子層をバッファ層として用いた実施形態の半導体レーザを示す断面図。

【図7】SiC基板を用いた実施形態の半導体レーザを示す断面図。

【図8】電流阻止層にAlBNP層を用いた実施形態の半導体レーザを示す断面図。

【図9】電流阻止層にAlBNP層を用いた実施形態の半導体レーザを示す断面図。

【図10】電流阻止層にAlBNP層を用いた実施形態の半導体レーザを示す断面図。

【図11】電流阻止層にGa層を用いた実施形態の半導体レーザを示す断面図。

【図12】電流阻止層にGa層を用いた実施形態の半導体レーザを示す断面図。

【図13】電流阻止層にGa層を用いた実施形態の半導体レーザを示す断面図。

【図14】クラッド層の上下に中間バッファ層を介在させた実施形態の半導体レーザを示す断面図。

【図15】クラッド層の上下に中間バッファ層を介在させた実施形態の半導体レーザを示す断面図。

【図16】クラッド層の上下に中間バッファ層を介在させた実施形態の半導体レーザを示す断面図。

【図17】クラッド層の上下に中間バッファ層を介在させた実施形態の半導体レーザを示す断面図。

【図18】基板を除去した実施形態の半導体レーザを示す断面図。

【図19】基板を除去した実施形態の半導体レーザを示す断面図。

【図20】基板を除去した実施形態の半導体レーザを示す断面図。

【図21】n型電流阻止層を省略した実施形態の半導体レーザを示す断面図。

【図22】n型電流阻止層を省略した実施形態の半導体レーザを示す断面図。

【図23】n型電流阻止層を省略した実施形態の半導体レーザを示す断面図。

【図24】本発明に有用な選択ドーピングを説明するための図。

【符号の説明】

11...GaP基板

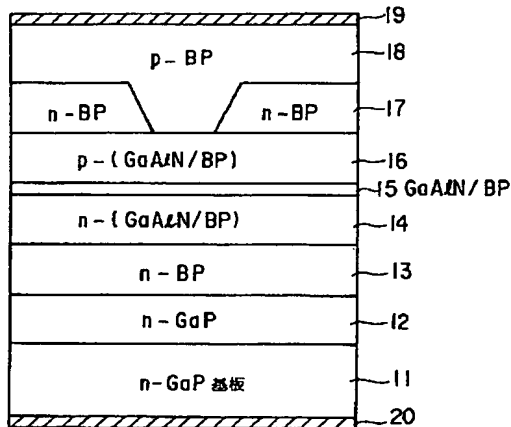
12...n型GaPバッファ層

50 13...n型BPバッファ層

13

- 14...n型GaAlN/BP超格子クラッド層
 15...アンドープGaAlN/BP超格子活性層
 16...p型GaAlN/BP超格子クラッド層
 17...n型BP電流阻止層
 18...p型BPコンタクト層
 19, 20...電極
 41...n型GaAlNP混晶クラッド層
 42...アンドープGaAlBNP混晶活性層
 43...p型GaAlBNP混晶クラッド層

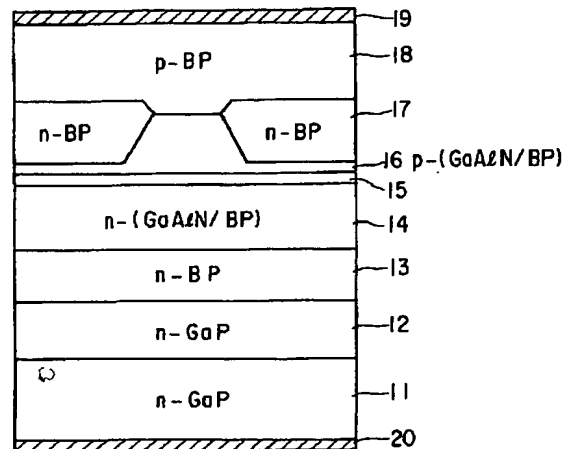
【図1】



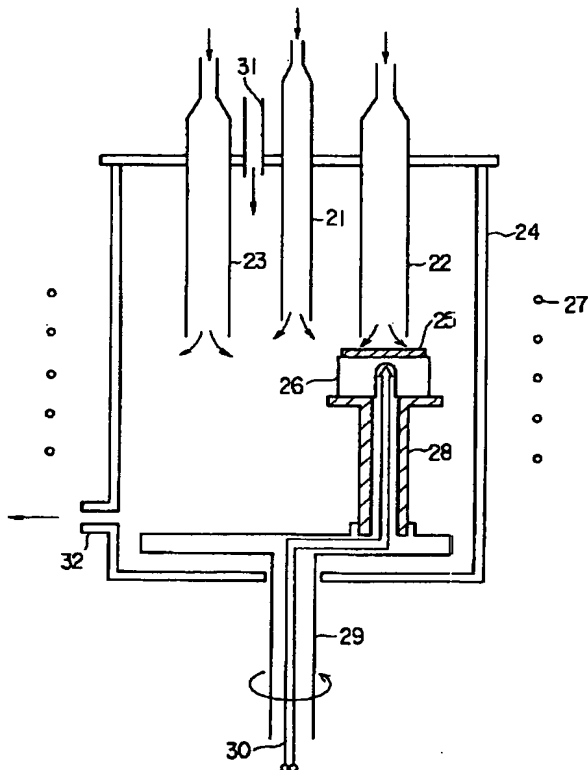
14

- 51...n型GaAlN/BP超格子バッファ層
 61...SiC基板
 81...n型AlBNP電流阻止層
 91...GaN電流阻止層
 101...n型GaAlN/BP超格子中間バッファ層
 102...p型GaAlN/BP超格子中間バッファ層
 111...n型GaAlBNP混晶中間バッファ層
 112...p型GaAlBNP混晶中間バッファ層

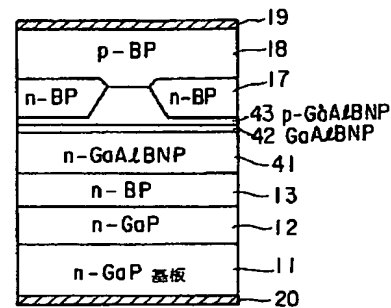
【図2】



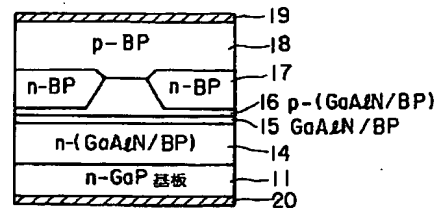
【図3】



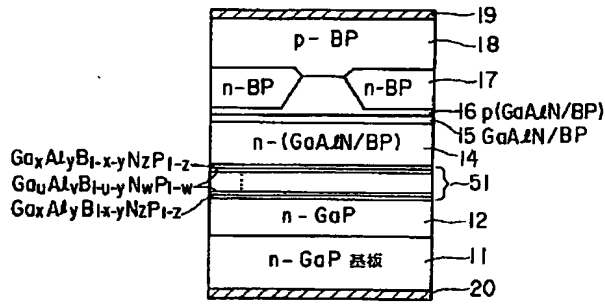
【図4】



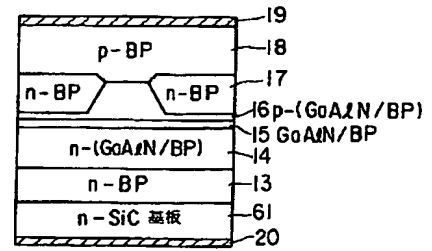
【図5】



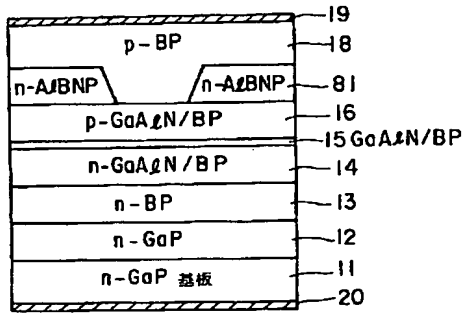
【図 6】



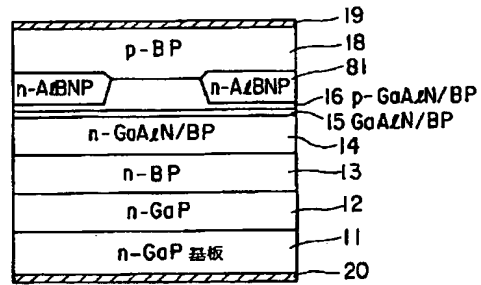
【図 7】



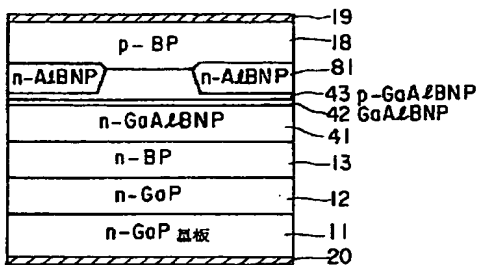
【図 8】



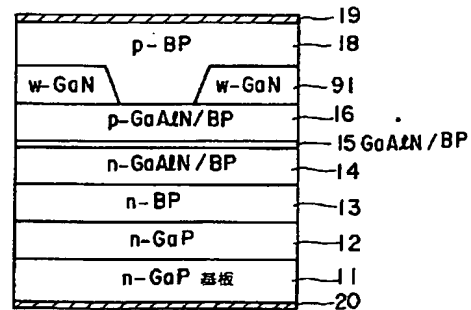
【図 9】



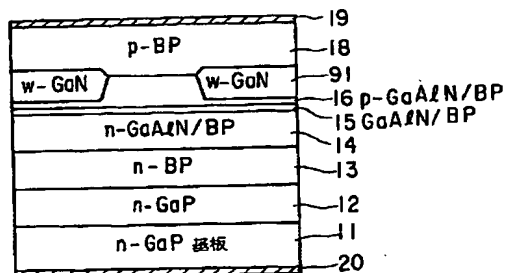
【図 10】



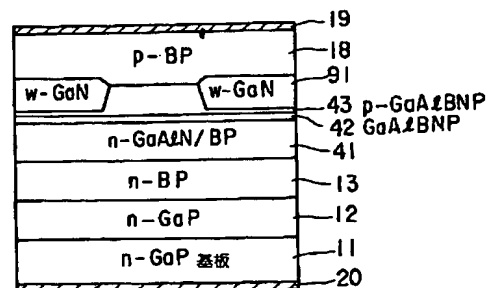
【図 11】



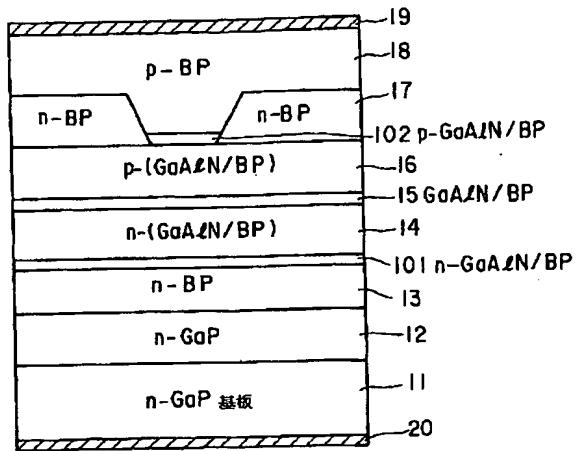
【図 12】



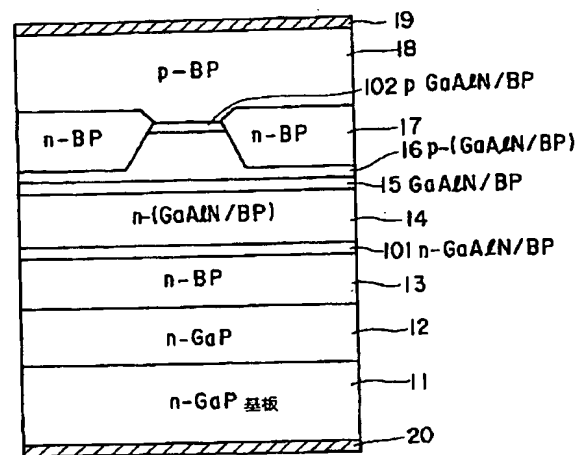
【図 13】



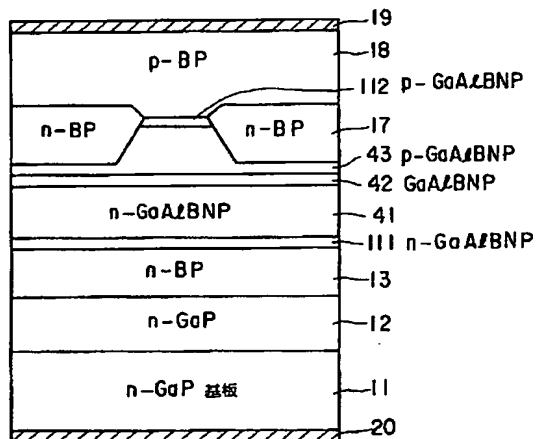
【図 14】



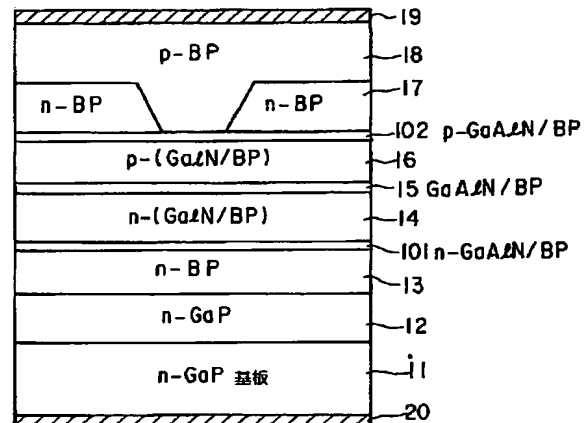
【図 15】



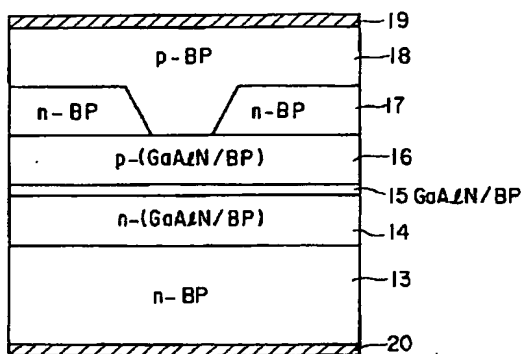
【図 16】



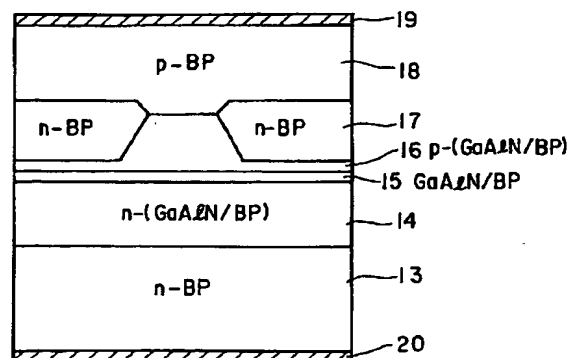
【図 17】



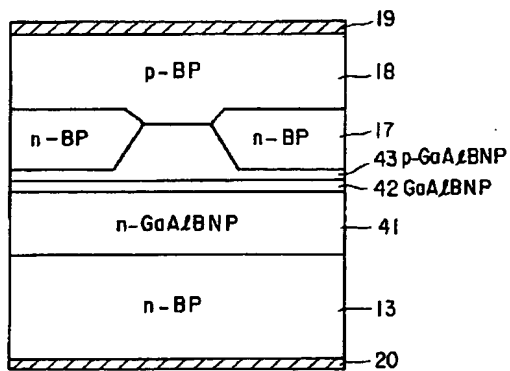
【図 18】



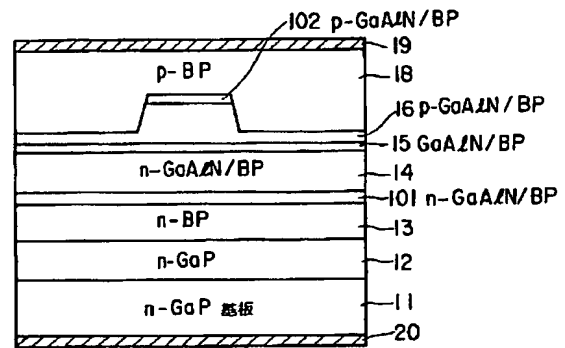
【図 19】



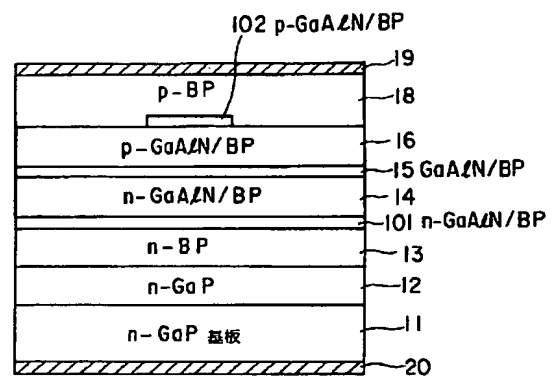
【図20】



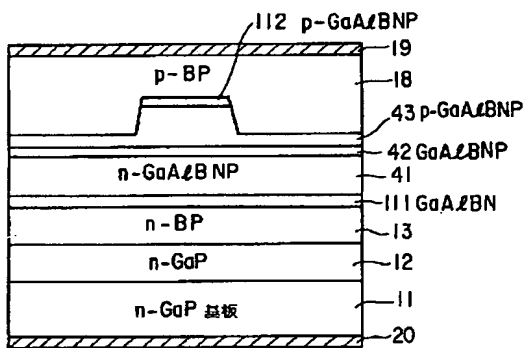
【図21】



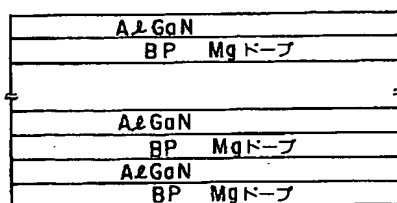
【図23】



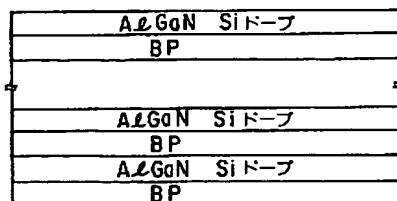
【図22】



【図24】



(a) p 型



(b) n 型